جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و چهارم، تابستان ۱۳۹۹

صص ۶۰- ۴۳

DOI: https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i2.86110

مقاله پژوهشی

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تأکید بر امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تهران)

اسماعیل نجفی - استادیار دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیای دانشگاه دامغان

مرتضی کریمی کِردآبادی[1] - دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه جامع امام حسین (ع)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۳/۲۳

چکیده

سیلاب یکی از مخاطراتی است که هر سال خسارات مالی و جانی فراوانی را در جهان و ایران به دنبال دارد. کلان‌شهر تهران به عنوان پایتخت کشور ما و بزرگ‌ترین هسته جمعیتی، دارای اهمیت اقتصادی، اجتماعی و سیاسی زیادی است که توسعه، امنیت و پایداری شهری آن نیازمند توجه بسیار است. رویکرد انجام تحقیق توصیفی-تحلیلی، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی و مدل ترکیبی AHP-FUZZY است که با به‌کارگیری نرم‌افزارهای ARC GIS و Expert Choice، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک تهران تهیه شده است. هدف از انجام این پژوهش شناسایی پهنه‌های دارای خطر سیل و تأثیر آن بر امنیت منطقه یک کلان‌شهر تهران است. نتایج نشان می‌دهد پهنه‌های خطر خیلی کم، خطر کم و متوسط در شمال و مرکز محدوده مورد مطالعه قرار دارند و پهنه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد، منطبق بر نقاط خروجی حوضه‌ها و در محدوده شهری منطقه قرار دارند. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی سیلاب و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت‌وساز در محدوده‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رود-دره‌های متعدد در منطقه یک تهران ممانعت به عمل آید.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی و پهنه‌بندی، خطر سیل، امنیت، مدل ترکیبی AHP-FUZZY، شهرداری منطقه یک تهران.

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۴۸۴۷۳۵ Email: mkarimi35@yahoo.com

۱- مقدمه

کلان‌شهرهای امروزی، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد همواره در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند. این مخاطرات که آسیب‌های جانی و مالی فراوانی را با خود به همراه دارند، نیازمند پیشگیری‌ها و اقدامات فوری هستند. بر مبنای برنامه استراتژیک بین‌المللی کاهش بلایای سازمان ملل متحد[۱]، کلیه مخاطرات دو منشأ متفاوت دارند: الف: مخاطرات طبیعی، ب: مخاطرات ناشی از فناوری یا مخاطرات ناشی از فعالیت انسان (ساسان پور و موسیوند، ۱۳۸۹) به نقل از (موس و پاترانکول[۲]، ۲۰۰٦: ۳۹٦). سوانح و مخاطرات طبیعی بخشی از طبیعت زیست هستند که در اثر ساخت‌وساز بی‌رویه انسان‌ها و هجوم افراد به مناطق پرخطر و نادیده گرفتن حریم‌های طبیعی، موجب بروز و تبدیل آن‌ها به بحران‌های فاجعه‌آمیز انسانی و اقتصادی شده است. یکی از عمده‌ترین مسائل و مشکلاتی که بیشتر کلان‌شهرهای جهان با آن دست به گریبان‌اند، مخاطرات طبیعی است. مخاطرات طبیعی و ژئومورفولوژیک، به ویژه سیل همواره سکونتگاه‌های بشر و جان انسان‌ها را تهدید می‌کند و در مدت کوتاهی می‌تواند خسارات و تلفات بسیار گسترده‌ای برجای بگذارد و در تداوم آن باعث ایجاد ناامنی در مناطق مختلف گردد. سیلاب ازجمله بلایای طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، همراه با زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (بهشتی راد و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۲). آنچه بر اهمیت وقوع رخداد سیل می‌افزاید، قرارگرفتن مراکز انسانی و شهری نظیر شهر تهران در محدوده‌های سیلابی است، وجود چنین مراکزی در محدوده حوضه‌های سیلابی علاوه بر این‌که موجب افزایش تولید رواناب می‌گردد، افزایش خسارات جانی و مالی را نیز به دلیل تراکم بالای جمعیت و تأسیسات به همراه دارد (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵: ٤).

سیل یکی از مخاطرات طبیعی کلان‌شهر تهران است که قادر است با عملکرد تخریبی خود آثار زیر بنایی را بر جایی بگذارد و بی‌تردید ناپایداری‌های ناشی از عملکرد این عامل طبیعی در ابعاد امنیتی ـ انتظامی می‌تواند مشکلات زیادی را برای مدیران مربوطه ایجاد نماید. رشد و توسعه مناطق شهری آثار نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه‌های آبریز بر جای گذاشته است. به‌طور مشخص از پیامدهای توسعه ناموزون فضاهای شهری و افزایش سطوح آسفالته و سیمانی، تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب، کاهش جریانات پایه و کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی شهرها است. عوامل مختلفی باعث وقوع سیلاب و آب‌گرفتگی در مناطق شهری می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها؛ عوامل اقلیمی، عوامل هیدرولوژیکی، توسعه شهرنشینی و گسترش مراکز مسکونی و صنعتی، تغییر کاربری اراضی، دخل و تصرف غیر مجاز در بستر و حریم رودخانه‌ها، ساخت‌وسازهای بی‌رویه و مداوم و بدون ضابطه در خط القعرها، کوهپایه‌ها و مسیل‌ها، طراحی و اجرای غیر اصولی سازه‌های تقاطعی رودخانه، عدم وجود سیستم

1 International Strategy for Disaster Reduction
2 and Pathranakul Mose

فاضلاب شهری و دیگر عوامل انسانی است (ملکی نژاد و اکرامی، ۱۳۸۹ به نقل از سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۰۸). علاوه بر موارد ذکر شده، علل سیل گیری شهرها دو منشأ، درون‌شهری (نامناسب بودن سیستم جمع‌آوری، عدم کشش (ظرفیت) سیلاب رودها و نامناسب بودن سیستم تخلیه آب) و برون‌شهری (طغیان رودخانه یا سیل، ناکافی بودن ظرفیت انتقال برای عبور سیلاب‌های متعارف، تشدید طغیان‌ها به دلیل کاربری‌های نامناسب در سطح حوضه آبریز و عدم مراعات طبقه‌بندی در حریم رودخانه‌ها) است (پور موسوی، ١٣٨٤: ١٧٧).

شهر تهران با وسعتی در حدود ۷۰۰۰ هزار هکتار، یکی از بزرگ‌ترین شهرهای جهان است، که دارای عوارض و مشخصات ویژه‌ای است. سیستم زهکشی، هدایت و جمع‌آوری آب‌های سطحی تهران دارای پیچیدگی‌هایی است که بیشتر ناشی از توسعه ناهمگون شهر و بدون توجه به معیارهای جامع شهرسازی بوده است. افزایش سطوح نفوذناپذیر در نتیجهٔ توسعه شهری، رژیم هیدرولوژیک منطقه را تغییر داده که باعث تشدید سیلاب‌های شهری گردیده است و همین امر موجب شده تا در سال‌های گذشته شاهد اصلاح زهکش‌های اصلی شهر تهران در اثر عدم ظرفیت هیدرولیکی آن باشیم (شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس،۱۳۹۰). ازجمله رخدادهای سیلاب در شهر تهران می‌توان به سیلاب ۷ مرداد ۱۳۳۳ معروف به سیل امامزاده داوود اشاره کرد که با خسارات جانی فراوان همراه بوده است. سیلاب ٤ مرداد ١٣٦٦ که در مناطق شمیران و مناطق شمالی تهران رخ داد، تعداد زیادی از ساکنین منطقه جان خود را از دست دادند (قنواتی و همکاران،۱۳۹۰: ۱۲۲ به نقل از قربانی و همکاران، ١٣٨٦ :٢). از موارد دیگر می‌توان به آب‌گرفتگی متروی تهران در اثر بارش‌های اواخر فروردین‌ماه ۱۳۹۱ اشاره کرد. (در حوضه آبریز مربوط به ناحیه وقوع حادثه (حوضه آبریز کن) برآورد تقریبی میانگین بارش باران در روزهای جمعه، شنبه، یکشنبه به ترتیب ۹،۲۷ و ٦ میلی‌متر (در مجموع ٤٢ میلی‌متر) بوده است که به‌طور متوسط می‌توان برای روزهای وقوع حادثه بارش را به میزان ١٣,٦ میلی‌متر منظور نمود (خبرآنلاین، ۱۳۹۱). در واقع به دنبال این بارش باران و طغیان رودخانه کن، دیواره مسیل کنار ایستگاه مترو اکباتان شکسته و آب وارد این ایستگاه و سه ایستگاه دیگر خط ٤ شده که همین امر مسدود شدن این ایستگاه‌ها و ترافیک سنگین در مسیر انقلاب – آزادی را ایجاد کرده است.

کلان‌شهر تهران و منطقه یک آن، به دلیل وجود رود-دره‌ها و مسیل‌های متعدد دارای مخاطرات و محدودیت‌های ژئومورفولوژیک ناشی از سیلاب است. در این پژوهش با رویکرد توصیفی– تحلیلی، به ارزیابی و پهنه‌بندی مخاطره سیل در منطقه یک کلان‌شهر تهران پرداخته شده است. در زمینه پیشینه پژوهش در سطح جهان و ایران می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

فرانسیسکو و همکاران ([1]١٩٨٨) به منظور اتصال سیستمGIS با مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مناطق تحت تأثیر سیل رودخانه‌ها را بر روی نقشه ترسیم کردند. آن‌ها از GISبه عنوان ابزاری قدرتمند برای تکمیل و

1 Francisco and et al

تحلیل داده‌ها در مدیریت دشـت‌های سـیلابی یاد کردند. چن و همکاران[1] (۲۰۱۱)، روش تحلیل خوشه‌ای فازی و شـاخص‌های مسـاحت تحت تأثیر قرار گرفته، تعداد تلفات جانی، تعداد خانه‌های ویران شـده و میزان خسـارات اقتصـادی مسـتقیم را در طبقه‌بندی خطر سیلاب در ۳۰ استان چین به‌کار برده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که روش تحلیل خوشه‌ای فازی روشی مناسب برای طبقه‌بندی خطر سیلاب است.

جیا و همکاران[2] (۲۰۱۹)، پژوهشـی را با عنوان پهنه‌بندی خطر سـیل بر اسـاس فرایند تحلیلی سلسله مراتبی و مجموعه متغیرهای فازی انجام داده‌اند و درنهایت مناطق در معرض بیش‌ترین خطر سـیل را نام‌برده‌اند. رحمتی و همکاران[3] (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به بررسی پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یاسوج، ایران، با استفاده از GISو تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری پرداخته است، نتایج نشان داد که تکنیک AHPبرای پیش‌بینی دقیق و قابل اعتماد برای میزان سـیل نویدبخش اسـت؛ بنابراین اسـتفاده از AHP و GIS برای ارزیابی پتانسیل خطر سیل، به‌ویژه در مناطق بدون داده مناسب است. یودینگ و همکاران[4] (۲۰۱۹)، در پژوهشی به ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی : بانگ رکام در تایلند) پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مناطق بسیار خطرناک سیل در نزدیکی شبکه زهکشی یافت شده است. همچنین فاکتورهای تأثیرگذار مهم در معرض خطر سیلاب به ترتیب شامل؛ انباشت جریان، ارتفاع و نفوذ آب خاک (همان وزن)، فاصله از شبکه زهکشی، متوسط باران سالیانه، تراکم زهکشی، کاربری زمین و شیب بوده است.

آل شیخ و همکاران (۱۳۸۱) از مدل‌های منطق بولین، شاخص همپوشانی و منطق فازی جهت تعیین مکان مناسب برای پخش سـیلاب در حوضـه آبخیز سمل استفاده نموده‌اند، نتایج حاصل از مقایسه نقشه‌های نهایی با عرصه‌های کنترلی نشان داده است که عملگرهای گامای ۰٫۱ و گامای ۰٫۲ و ضرب جبری از مدل منطق فازی بهترین مدل‌های تلفیق هستند. صراطی (۱۳۸۵) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به مدل‌سازی و پهنه‌بندی سیل‌خیزی مناطق شهری در وب (منطقه مورد مطالعه: شمال تهران (دربند) پرداخته است. حسین زاده و همکاران (۱۳۸٦) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر گسـترش شـهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری را مطالعه کرده‌اند و به این نتیجه رسـیده‌اند که اثرات مسـتقیم و غیرمستقیم شهر بر الگوی زهکشی طبیعی در محدوده گسترش شهر موجب تشدید سیل‌خیزی در این شهر گردیده است.

قهرودی (۱۳۸٦) به مدیریت سـیلاب‌های شهری با طراحی "پایگاه داده[5] "در شهر نور استان مازندران پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که مدیریت سیلاب‌های شهری بدون ساختار یکپارچه از داده‌های مکانی امکان‌پذیر

---

1 Chen and et al
2 Jia and et al
3 Rahmati and et al
4 Yodying and et al
5 Geodatabase

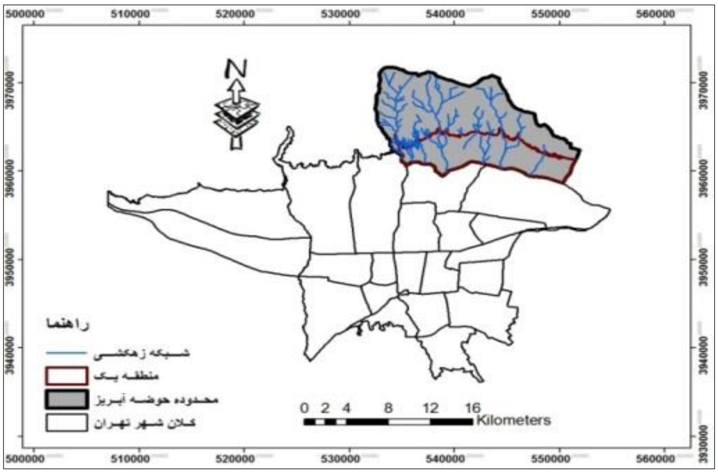
نیست. ساعد (۱۳۸۷) در پایان‌نامه خود به پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهر سنندج پرداخته است که با همپوشانی لایه‌های مربوط به خطر سیل، درنهایت میزان خطر سیل را برای هر یک از کاربری‌ها محاسبه کرده است. صفاری و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه ۳ تهران) پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشـــان می‌دهد که منطقه ۳ تهران مستعد خطرات ناشی از سیل است و رعایت نکردن حریم مسیل، کم بودن مقاومت ساختمان‌ها، ضریب رواناب بالا در مناطق مسـکونی، تراکم و تعداد طبقات بالا و کم عرض بودن شـبکه ارتباطی بیش‌ترین اهمیت در آسیب‌پذیری منطقه را دارد و بیش از ۱۲ درصد از منطقه مورد مطالعه کاملاً آسیب‌پذیر است. قنواتی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی پرداخته‌اند. نتیجه پژوهش و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سـیل گیری نشـان دهنده انطباق نواحی با خطر بسیار بالا در پایین دست حوضه بر دره اصلی فرحزاد است.

موسوی و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله‌ای به بررسی ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSISدر محیط GIS در حوضه آبخیز شهر باغملک پرداخته‌اند. نتایج برگرفته شده از نقشه پهنه‌بندی، نشان داد که ۱۷٫۸٦ درصـــد از محدوده در طبقه با خطر بســـیار بالا، ۲٤٫۱۵ درصـــد در پهنه با خطر بالا قرار دارد. حمیدی و همکاران (۱۳۹۵)، پژوهشی را با عنوان تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوزه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سـلسـله مراتبی و منطق فازی انجام داده‌اند. نتایج حاصل از روش AHPنشان داد که ۱۰ درصد مساحت با سابقه رخداد سـیل در کلاس‌های خیلی زیاد و زیاد واقع شـده اسـت و همچنین نتایج تابع عضـویت گوسـی بیشـتر با گزارش‌های حاصل از وقایع رخداد سیل پیشین همخوانی دارد. خالدی و همکاران (۱۳۹٦)، ریز پهنه‌بندی و مقایسه ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل‌های تلفیقی عملگرهای فازی Arc GISو تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: شهر ارومیه) پرداخته‌اند؛ بر اساس نتایج مدلFuzzy AHP به کار رفته این در پژوهش، از کل مساحت شهر حدود ۱۱ درصد دارای پتانسیل بالای سیل‌خیزی است و این مساحت به‌طور دقیق‌تر و مشخص شده در سایر مناطق شهری گسترده شده است. محمودزاده و باکویی (۱۳۹۷)، در مقاله‌ای به پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی در مورد شهر ساری پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که خطر سیل در مرکز و جنوب شهر از بیش‌ترین مقدار برخوردار بوده است. شایسته و عابدیان (۱۳۹۸)، در پژوهشی به بررسی آثار تغییر کاربری اراضی حوضه آبریز زیارت در دوره زمانی ۲۱ ساله و در فاصله زمانی ۱۳۹٤-۱۳۷۳ بر عمق و حجم رواناب پرداخته‌اند.

۲- منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در ۵۱ درجه و ٦ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳٤ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته‌است و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز

و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیّر است. تهران در بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شـده اسـت. از جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی‌شـهربانو و دشـت‌های هموار شـهریار و ورامین و از شـمال توسط کوهسـتان محصور شده است (موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۷). منطقه یک شهرداری تهران با مسـاحت ۳٦۰٤ هکتار، شـمالی‌ترین منطقه تهران به شـمار می‌رود به‌طوری که مرز شـمالی آن بر مرز شمال تهران (خطوط ارتفاعی ۱۸۰۰ متر) منطبق اسـت. این منطقه از غرب توسط رود – دره درکه با منطقه ۲، از جنوب توسط بزرگراه چمران، مدرس و صـدر با منطقه ۳ و از جنوب شرقی توسط بزرگراه ازگل با منطقه ٤ شهرداری تهران هم مرز اسـت. کاربری عمده در منطقه یک مسـکونی اسـت و حضـور کاربری‌های فرامنطقه‌ای و فراشـهری به ویژه کاربری‌های دیپلماتیک و گردشـــگری در منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار اســـت و جمعیت آن همواره در حال افزایش اسـت (مهندسین مشاور بافت شهر،۱۳۸٤ :۲). این منطقه از عوارض طبیعی چون رود– دره، تپه و کوه‌هایی برخوردار است که از جهات گوناگون اسباب عدم توسعه و امنیت و یا در مواردی توسعه را فراهم آورده است شکل (۱).



شکل ۱– محدوده مورد مطالعه

۳– مواد و روش‌ها

رویکرد انجام تحقیق توصیفی–تحلیلی، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و تصـاویر ماهواره‌ای (Google Earth) و با به‌کارگیری نرم‌افزار GIS و مدل ترکیبی (AHP-FUZZY) انجام گرفته و درنهایت نقشـه نهایی پهنه‌بندی خطر سـیل در منطقه یک شهر تهران به دست آورده شد. معیارهای به کار گرفته شـده جهت ارزیابی و پهنه‌بندی شـامل، بارش، زمین‌شـناسی (لیتولوژی)، فاصله از آبراهه‌ها، شیب، ارتفاع و

کاربری اراضی در سطح منطقه است. برای انجام این پژوهش پس از شناسایی معیارهای مؤثر در رخداد سیل، اقدام به انجام مقایسات زوجی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice گردید. سپس به آماده سازی و مقیاس سازی و رستری کردن لایه‌ها و معیارها جهت فازی سازی آن‌ها با استفاده از توابع فازی نموده‌ایم. از میان این معیارها، ارتفاع و شیب از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه استخراج شده‌اند مستقیماً ماهیت رستری داشته و نیازی به انجام رستری کردن نداشته‌اند. معیارهای کاربری اراضی و زمین‌شناسی چون به صورت برداری (وکتوری) هستند، در جدول اعداد توصیفی فیلدی تحت عنوان وزن فازی درست کرده و طبق آن رستری شده‌اند. معیار فاصله از شبکه زهکشی با استفاده از دستور (Euclidean Distance) به لایه رستری تبدیل شد. معیار بارش هم با استفاده از دستور درون‌یابی IDW به دست آمد که خود این لایه رستری است. در ادامه فرآیند فازی سازی هر کدام از لایه‌ها به صورت واضح تشریح شده است.

٤- بحث و نتایج

پهنه‌بندی ازجمله تحلیل‌های مکانی است که تأثیر فراوانی در کاهش هزینه‌های ایجاد و راه‌اندازی فعالیت‌های مختلف دارد به همین دلیل یکی از مراحل مهم و اثرگذار در پروژه‌های اجرایی به‌شمار می‌رود. برای اجرای یک پهنه‌بندی موفق، لازم است کلیه عوامل مؤثر در سطح منطقه مطالعاتی بررسی شود و پهنه‌های مناسب در قالب خروجی فرآیند پهنه‌بندی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان نهایی قرار گیرد تا این افراد نیز بر اساس سیاست‌های موجود و اولویت‌های هریک از نتایج، گزینه‌های مناسب را انتخاب می‌کنند. تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم دقت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی برای این منظور به شمار می‌رود (لوتسما[1]،٢٠٠٥:٦٦)

این نظریه که نخستین بار توسط پروفسور لطفی زاده دانشمند ایرانی‌الاصل دانشگاه کالیفرنیا در سال ١٩٦٥ مطرح شد، حوزه‌های بسیار از علوم مختلف و به ویژه دانش برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی را فرا گرفته است (امینی فسخودی،١٣٨٤ :٤١). فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) [2] یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم گیری چندگانه است. این فرآیند یکی از روش‌های ارزیابی و تحلیل تصمیم گیری چند معیاری است که کاربرد وسیعی در علوم زمین و برنامه‌ریزی فضا و محیط دارد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در دهه‌ی ٧٠ میلادی به وسیله ساتی[3] ابداع شد (ساتی، ١٩٨٠)، بعدها به وسیله سایر محققین در ارزیابی‌ها و برنامه‌ریزی‌ها مورد استفاده قرار گرفت (کرم و محمدی،١٣٨٨ :٦٠). این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد (قدسی پور، ١٣٨٥، ٥).

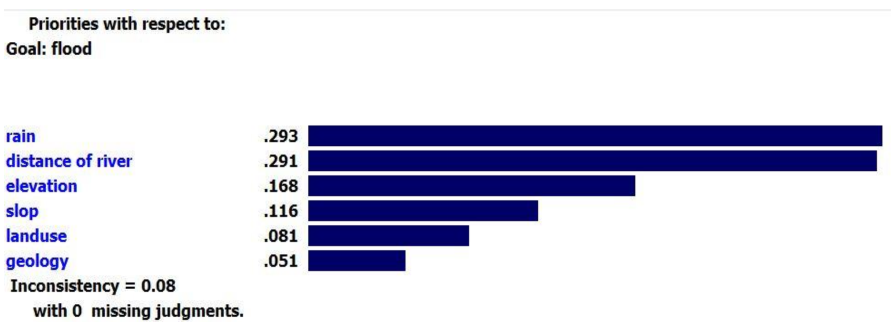
---
1 Lootsma
2 Analytic Hierarchy Process
3 Saaty

در این پژوهش، بررسی و شناسایی عوامل مؤثر بر پهنه‌های مخاطره‌آمیز سیل و انتخاب روشی مناسب و مبتنی بر یافته‌ها و ابزار علمی، مورد توجه قرار گرفته و از سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری توانمند در مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی استفاده شده است. سپس ضمن انتخاب و شناسایی معیارهای مناسب برای ارزیابی خطر سیل در منطقه یک کلان‌شهر تهران در راستای توسعه و امنیت شهری از ترکیب دو مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی استفاده گردید. مراحل این دو مدل به شرح زیر است: ۱ ـــ تعیین معیارها و زیر معیارهای پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک؛ ۲ ـــ ارزش‌دهی به معیارها؛۳ ـــ ساخت لایه‌های اطلاعاتی برای معیارها؛ ٤ ـ بهینه‌سازی (استانداردسازی یا فازی سازی) لایه‌های اطلاعاتی بر اساس منطق فازی؛۵ ـ اعمال وزن نهایی به معیارها و ترکیب با لایه‌های فازی شده؛٦ ـ پهنه‌بندی نهایی خطر سیل در منطقه یک کلان‌شهر تهران که نهایی گردید.

براساس مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته در مورد سیل‌خیزی، عوامل بسیاری در سیل‌خیزی دخیل هستند. بر اساس نظر کارشناسان این مخاطره و با توجه ویژگی‌های منطقه یک شهرداری تهران مهم‌ترین عواملی که زمینه بروز سیل در این منطقه را فراهم می‌کنند شامل، بارش، کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، فاصله از شبکه زهکشی و زمین‌شناسی (لیتولوژی) هستند.

با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از مقایسه‌های زوجی (از طریق تکمیل کردن تعداد ۱۰ پرسشنامه توسط خبرگان و کارشناسان) و تحلیل آن به کمک نرم‌افزار Expert Choice(انتخاب خبره) وزن نهایی هر یک از اجزای عناصر مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک شهر تهران شناسایی گردید و در ادامه آمده‌اند، شکل (۲) و جدول (۱). استفاده از مدل فازی در کارهای پهنه‌بندی بر مبنای تحلیل‌های رستری (شبکه‌ای) است، لذا می‌بایست هر پیکسل در هر معیار با توجه تابع ایده‌آل ارزش عضویتی از صفرتا یک را به خود بگیرد. برای معیارهای پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک از تابع فازی خطی (افزایشی و کاهشی Linear) استفاده شده است. فازی سازی لایه‌های پهنه‌بندی خطر سیل، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS10 و از مسیر زیر در محیط این نرم‌افزار انجام شده است:

Arc Map>Spatial analyst>overly> fuzzy membership> linear



شکل ۲- وزن نهایی به دست آمده برای شاخص‌های پهنه‌بندی مخاطرات سیل در منطقه یک شهر تهران

جدول ۱- مقایسات زوجی برای شاخص‌های پهنه‌بندی مخاطرات سیل در منطقه یک شهر تهران

	distance of	elevation	slop	landuse	geology	rain
distance of river		3.0	3.0	3.0	4.0	1.0
elevation			2.0	3.0	4.0	2.0
slop				3.0	3.0	5.0
landuse					3.0	3.0
geology						3.0
rain	Incon: 0.08					

۴-۱- فازی ســازی لایه بارش: برای فازی سازی لایه هم بارش منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (میانگین بارش در محدوده مورد مطالعه ۵۵۰ میلی‌متر و حداکثر بارش ۸۰۰ میلی‌متر اســت) و براساس اینکه با افزایش میزان بارش، میزان سیل‌خیزی بیشتر می‌شود، نوع تابع برای فازی سازی آن خطی افزایشی است که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۳) آمده است طبق آن هر چه از جنوب به سمت شمال پیش برویم بر میزان خطر سیل افزوده می‌گردد و امتیاز فازی سازی آن نیز بیشتر و نزدیک یک است.

۴-۲- فازی ســـازی لایه ارتفاع: برای فازی ســـازی لایه ارتفاع، بر اســـاس اینکه با افزایش میزان ارتفاع میزان ســیل‌خیزی کمتر می‌شــود، زیرا که بیش‌ترین رواناب و دبی در خط القعرها، نقاط خروجی حوضــه‌ها و مناطق کم ارتفاع و شــهری آسفالته شده وقوع می‌گردد و نوع تابع برای فازی سازی آن خطی کاهشی است، که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۴) آمده است. طبق این شکل مناطق کم ارتفاع و شهری دارای بیش‌ترین امتیاز و خطر سیل است و هرچه از شمال منطقه به سمت جنوب حرکت کنیم میزان سیل‌خیزی بیشتر می‌گردد.

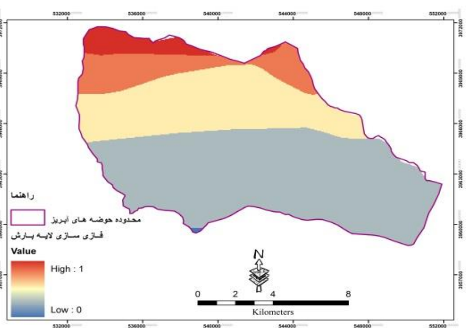
۴-۳- فازی ســازی لایه شــیب: برای فازی ســازی لایه شــیب، با توجه به اینکه با افزایش میزان شــیب، میزان سیل‌خیزی کمتر می‌شود، زیرا که به دلیل شیب زیاد دامنه‌ها بیش‌ترین میزان حجم دبی و رواناب در محدوده شهری و خط‌القعرها ایجاد می‌شود. نوع تابع برای فازی سازی آن خطی کاهشی است که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۵) آمده اســت. طبق آن هر چه از شمال محدوده مورد مطالعه به سمت جنوب آن پیش برویم بر میزان خطر سیل افزوده می‌گردد و امتیاز فازی سازی آن نیز بیشتر و نزدیک یک است.

۴-۴- فازی سازی لایه زمین‌شناسی: برای فازی سازی لایه زمین‌شناسی، بر اساس اینکه با افزایش میزان مقاومت ســازندها، میزان سیل‌خیزی بیشتر می‌شود زیرا که به دلیل نبود پوشش گیاهی و عدم نفوذپذیری مناسب، بارش رخ داده به صــورت رواناب‌های ســطحی ایجاد می‌گردد، نوع تابع برای فازی ســازی آن خطی افزایشــی اقدام شده که اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۶) آمده است.

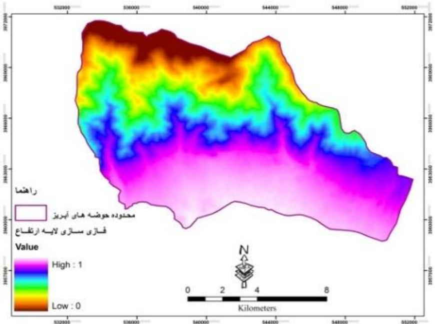
۴-۵- فازی سازی لایه فاصله از شبکه زهکشی: برای فازی سازی لایه فاصله از شبکه زهکشی، بر اساس اینکه با افزایش فاصله از شبکه زهکشی، میزان سیل‌خیزی کمتر می‌شود، نوع تابع برای فازی سازی آن خطی کاهشی است،

زیرا که اثر این مؤثر در وقوع سـیل کم می‌شود. طبق آن مناطق و دامنه‌های مجاور شبکه‌های زهکشی بیشتر مستعد وقوع سـیلاب می‌باشـند. اطلاعات و نقشه فازی آن در شکل (۷) آمده است. طبق آن هر چه از شبکه‌های زهکشی فاصله بگیریم از میزان سیل‌خیزی کاسته می‌شود و امتیاز فازی سازی آن کمتر می‌شود.

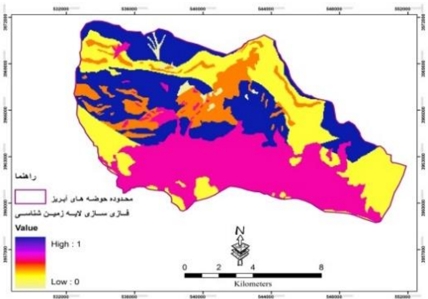
٤-٦- فازی سـازی لایه کاربری اراضی برای فازی سازی لایه کاربری اراضی، بر اساس اینکه هرچه کاربری‌های شـهری و پوشـش گیاهی فقیر بیشـتر باشـد، میزان سیل‌خیزی بیشتر می‌شود، نوع تابع برای فازی سازی آن خطی افزایشـی اقدام شـده که اطلاعات و نقشـه فازی آن در شکل (۸) آمده است. طبق آن کاربری‌های شهری و سطوح آسفالته دارای بیش‌ترین امتیاز جهت فازی سازی بوده است.



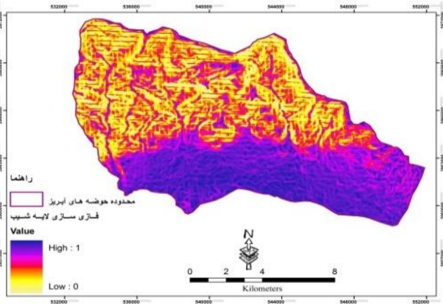
شکل ٤- نقشه فازی سازی لایه ارتفاع



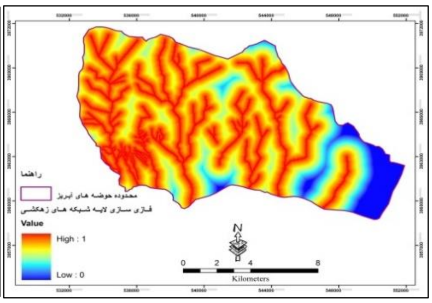
شکل ۳- نقشه فازی سازی لایه بارش



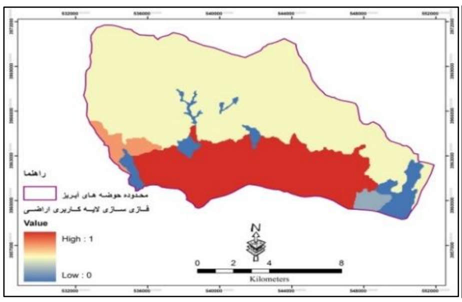
شکل ٥- نقشه فازی سازی لایه شیب



شکل ٦- نقشه فازی سازی لایه زمین‌شناسی



شکل ۷- نقشه فازی سازی فاصله از شبکه زهکشی



شکل ۸- نقشه فازی سازی کاربری اراضی

۵- پهنه‌بندی خطر سیل و تحلیل آن

عوامل متعددی در بروز سیل نقش دارند که می‌تواند هم از عوامل انسانی و هم از عوامل طبیعی پیروی کنند. در این پژوهش پس به دست آوردن وزن لایه‌ها در نرم‌افزار Expert Choice و فازی سازی آن‌ها، با استفاده از دستور spatial analyst و raster calculator نتایج را محاسبه و سپس class Re شده‌اند، درنهایت این لایه را به پنج طبقه خطر تقسیم گردید و به این ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر سیل به دست آمده است.

(([rain] * 0.293) + ([demfinal] * 0.168) + ([geology] * 0.051) + ([landuse] * 0.081) + ([river] * 0.291) + ([slop] * 0.116))

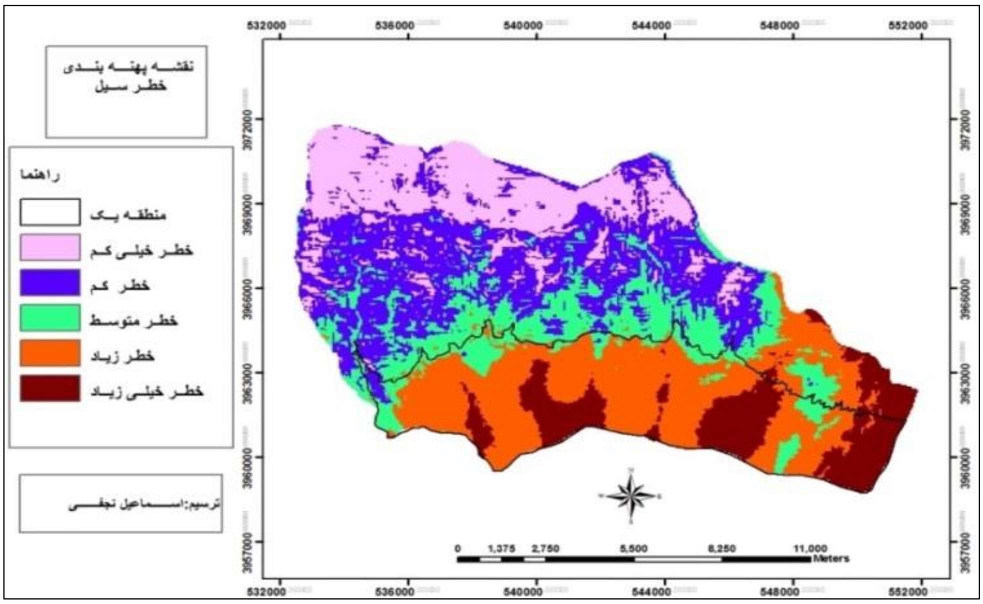
همانگونه که در شکل (۹) و جدول (۲) آمده است، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد که ٤۹ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری منطقه یک و بستر مسیل‌ها و منطبق بر شبکه‌های زهکشی و نقاط خروجی حوضه‌های آبریز مسلط بر منطقه یک می‌باشند. ولی مناطق کم خطرتر بیشتر منطبق بر قسمت‌های شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دارای پوشش گیاهی می‌باشند. با توجه به مشخصات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها و بررسی دیگر پارامترهای مورد مطالعه نشان می‌دهد، هر چه از بالادست و شمال حوضه‌ها به سمت پایین دست و جنوب حوضه‌های آبریز در منطقه مورد مطالعه حرکت کنیم به میزان خطر سیلاب افزوده می‌گردد (شکل ۹).

۵-۱- پیامدهای امنیتی رخداد سیل در کلان‌شهر تهران و منطقه یک

امنیت از اساسی‌ترین نیازهای بشر و در اولویت زندگی جمعی جوامع بشری می‌باشد. مجموعه کارکردهای فردی و اجتماعی در تأمین امنیت و پایداری آن در اشکال مختلف سکونت‌گاه‌ها و معیشت انسان‌ها تبلور یافته است. بی‌ثباتی، زمینه‌ساز بحران و مرحله آغازین ناپایداری‌ها است. از این رو تلاش جوامع انسانی به برقراری ثبات، توأم با هزینه‌های سنگین بوده است. از میان عوامل گوناگون شکل‌دهنده بحران امنیتی، مخاطرات محیطی (ازجمله وقوع سیلاب) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است گرچه پیامد ثانویه عملکرد مخاطرات محیطی موجب بحران امنیتی در سکونت‌گاه انسانی است، لیکن شناخت روند حاکم بر شکل‌گیری بحران در فضای شهری ناشی از آن دغدغه اصلی مدیران شهری به‌شمار می‌آید. از آنجایی‌که آسیب‌پذیری کلان‌شهرهای کشورهای در حال توسعه، فضای امنیتی را در مقیاس ملی تحت‌تأثیر شدید خود قرار می‌دهد، در کلان‌شهر تهران و منطقه یک به دلیل تمرکز شدید سیاسی-اداری، اجتماعی-فرهنگی و اقتصادی آسیب‌پذیری فوق‌العاده‌ای را در پی خواهد داشت.

شهر تهران به عنوان یک کلان‌شهر و پایتخت ایران، با جمعیتی در حدود ۱۳ میلیون نفراست که با قرارگیری در معرض ارتفاعات و حضور رود-دره‌های متعدد (کن، فرحزاد، درکه، دربند، ولنجک، گلابدره و دارآباد) و بارش نسبتاً زیاد (میانگین بارش ۵۵۰ میلی‌متر)، و مداخلات انسانی (دخل و تصرف و تجاوز به حریم رود - دره‌ها و مسیل‌ها (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲).

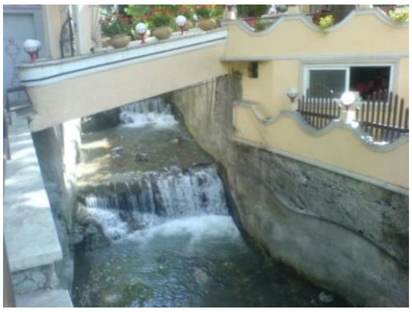
افزایش سطوح آسفالته و نفوذناپذیر شهر، تبدیل حوضه‌های طبیعی به حوضه‌های تلفیقی، متأثر و مستعد وقوع پدیده سیلاب است (رخداد سیلاب‌های قبلی ازجمله سیلاب سال ١٣٦٦ گلابدره و تجریش و آبگرفتگی متروی تهران در اثر بارش‌های اواخر فروردین ماه ١٣٩١(در مجموع ٤٢ میلی‌متر))، در صـــورت وقوع چنین مخاطره‌ای، علاوه بر ایجاد خســـارات مالی و جانی فراوان، آبگرفتگی خیابان‌ها و معابر، ایجاد ترافیک، می‌تواند مشـــکلات و تبعاتی برای کلان‌شهرتهران در پی داشته باشد که منجر به هرج و مرج و تضعیف امنیت و توسعه در کلان‌شهر تهران و به تبع آن پهنه سرزمینی ایران گردد. برای کمک به رفاه و امنیت شهروندان و جلوگیری از بروز ناامنی و هرج مرج بعد از وقوع چنین مخاطره‌ای نیازمند به‌کارگیری و اجرای رویکرد سیســتمی (حوضــه‌ای) و رعایت فاصله از حریم مسیل‌ها و به‌کارگیری متخصصان مختلف و ازجمله ژئومورفولوگ‌ها است.



شکل ٩-نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه یک

جدول ٢- مساحت و درصد مساحت طبقات خطر سیل در منطقه یک (محاسبات نگارندگان)

طبقات خطر سیل	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
خطر خیلی کم	١٣	١٠
خطر کم	٣٠	٢١
خطر متوسط	٢٩	٢٠
خطر زیاد	۴٧/۵	٣٣
خطرخیلی زیاد	٢٣/۵	١۶



شکل‌های ۱۰- تجاوز به حریم مسیل و رود- دره دربند و کانال تجریش



شکل‌های ۱۱- ساخت‌وسازو تجاوز به حریم مسیل و رود- دره‌های دارآباد و ولنجک



شکل ۱۲- تجاوز به حریم مسیل و رود-دره‌های دارآباد و ولنجک و ساخت‌وساز در حریم آن‌ها

٦- نتیجه‌گیری

سیلاب یکی از مخاطراتی است همه ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را در جهان و ایران به دنبال دارد. برای جلوگیری از رخداد و خسارات سیلاب، باید مناطقی را شناسایی کرد که دارای پتانسیل بالایی در ایجاد این پدیده است. وقوع چندین سیلاب در تهران که در برخی موارد با خسارات جانی و مالی همراه بوده است نشان دهنده ضرورت مطالعه جامع در زمینه سیلاب در حوضه‌های بالادست شهر تهران ازجمله حوضه‌های آبریز منطقه یک است. عوامل متعددی در بروز سیل نقش دارند که می‌تواند هم از عوامل انسانی و هم از عوامل طبیعی پیروی کنند. همان‌گونه که در شکل (۹) و جدول (۲) آمده است، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر

خیلی زیاد و زیاد که ۵۰ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری منطقه یک و مسیل‌ها و منطبق بر شبکه‌های زهکشی و نقاط خروجی حوضه‌های آبریز مسلط بر منطقه یک می‌باشند. ولی مناطق کم خطرتر بیشتر منطبق بر قسمت‌های شمالی و مرکزی محدوده و مناطق دارای پوشش گیاهی می‌باشد. به‌طور کلی، هر چه از بالادست و شمال حوضه‌ها به سمت پایین دست و جنوب حوضه‌های آبریز منطقه حرکت کنیم، به میزان خطر سیلاب افزوده می‌شود. با توجه اینکه، هر چه زمان تمرکز کمتر باشد، زمان رسیدن دبی اوج کوتاه‌تر می‌گردد و خطر سیل‌خیزی افزایش می‌یابد، حوضه‌های جمشیدیه، ولنجک، سعدآباد، گلابدره و ازگل دارای خطر سیل‌خیزی بیشتری هستند. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی سیلاب و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت وساز در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رود– دره‌های متعدد در منطقه یک (درکه، ولنجک، دربند، سعدآباد، گلابدره، جمشیدیه، جمشیدیه میانی و پایین، دارآباد، باقلا زار و ازگل) ممانعت به عمل آید. همچنین این رود– دره‌های متعدد، که به عنوان تفرجگاه‌های عامه مردم تهران شناخته شده می‌شوند و افراد بسیاری در ایام تعطیل آن را به عنوان محلی برای گذراندن اوقات فراغت خود انتخاب می‌کنند. در چنین شرایطی رخداد سیلاب با خسارات بسیاری همراه خواهد بود. بنابراین، توصیه می‌شود که اماکن و سفره‌خانه‌های سنتی که در این حوضه‌ها دایر شده‌اند و اغلب حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها را رعایت نکرده‌اند به مکان‌های کم خطرتر انتقال داد. با توجه به عوامل مخاطره‌زا و محدودیت‌هایی که ناشی از عوامل محیطی در محدوده کلانشهر تهران و منطقه یک آن وجود دارد، باعث افزایش دخالت‌ها و دخل و تصرف انسان در محیط طبیعی و پیشروی به سمت دامنه‌ها و تجاوز به حریم مسیل‌ها گردیده است. به دلیل وجود عوامل طبیعی و انسانی، وقوع سیلاب در محدوده مورد مطالعه می‌تواند علاوه بر ایجاد خسارات جانی و مالی، منجر به ناامنی و سلب رفاه و آسایش شهروندان گردد. در محدوده مطالعاتی پنج شاخه اصلی رودخانه (مسیل و آبراهه) و سه شاخه فرعی وجود دارد. از آنجایی‌که بیش‌ترین تراکم شبکه زهکشی در قسمت غربی حوضه وجود دارد که متعلق به رودهای درکه، ولنجک و دربند است و کمترین پهنه تراکمی در شرق حوضه قرار دارد که شامل رودهای جمشیدیه و مقصودبیک است و از سوی دیگر، قسمت‌های مرکزی فاقد شبکه تراکم زهکشی است، می‌توان گفت قسمت‌های مرکزی محدوده شهری، دارای پتانسیل سیل‌خیزی کمتری نسبت به سایر قسمت‌ها است. بستری که منطقه یک بر آن واقع شده است، بستر رودخانه‌های متعدد و ادامه حوضه‌های آبریز بالادست آن‌ها است و گسترش شهر بر چنین بستری سیلابی می‌تواند منجر به خسارت و سلب امنیت و توسعه شهری گردد، موید این امر وقوع سیلاب مرداد ماه ۱۳٦٦ در شمیران و گلابدره بوده است که منجر به خسارات زیاد جانی و مالی شد. مسیل‌های شهر تهران و منطقه یک آن، پس از ورود به دشت تهران، مسیر آن‌ها پوششدار شده و در عین حال که دارای مسیر هندسی منظم از جنس بتون شده‌اند، زمین‌های حاشیه وحریم طبیعی آن‌ها با خاک‌های دستی و زباله به مرور زمان محدود و تبدیل به اراضی مسکونی شده است که به نوعی حریم مسیل

محدود گردیده است. همچنین پوششدار کردن مسیل‌ها از بدو ورود به دشت تهران، باعث کاهش نفوذ پذیری آن‌ها و قطع تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی از سویی و سیل‌خیزی آن‌ها از سوی دیگر شده است.

همچنین از مشکلات دیگر، تبدیل کانال ایجاد شده به مجرای دریافت پساب‌ها، هرزآب‌ها وزباله‌های شهری است که توام با انباشت رسوب سیلاب‌ها در مقاطع مختلف کانال با گذشت زمان، می‌تواند به محل مناسبی جهت انباشت آلودگی‌ها گردد. درنهایت اینکه، به دلیل قرارگیری دامنه‌ها و ارتفاعات مسلط بر شهر و منطقه یک و شیب بین صفرتا ٦٤ درصد و وجود دامنه‌های عریان و عاری از پوشش گیاهی و سازندهای سست و هوازده و دخالت عوامل انسانی (تجاوز به حریم مسیل‌ها و پوششدار کردن آن‌ها، تلفیق حوضه‌های طبیعی و ساختوساز در آن‌ها، افزایش سطوح آسفالته و شهری) و به دنبال آن وجود رودخانه‌ها و مسیل‌های متعدد و بارش نسبتاً زیاد، پدیده سیلاب یکی از مهم‌ترین عوامل و مخاطرات ژئومورفولوژیک محدودکننده توسعه و امنیت منطقه یک شهر تهران محسوب می‌شود. وقوع سیل در این منطقه می‌تواند موجب بروز و تبدیل به بحران فاجعه آمیز انسانی و اقتصادی و باعث ایجاد ناامنی در سطح منطقه یک و کلان‌شهر تهران شود.

۷- ارائه پیشنهادها

باتوجه مطالعات و تحلیل‌های انجام گرفته، پیشنهادها و راهکارهای ایمن سازی در برابر خطر سیل به شرح ذیل پیشنهاد می‌گردد:

۱-نگرش سیستمی و حوضه‌ای به مخاطره سیلاب.

۲- پیشنهاد می‌گردد تحقیقاتی در مورد نقش عوامل انسانی (تجاوز به حریم مسیل‌ها و افزایش سطوح آسفالته و ...) مؤثر در بروز خطر سیل در شهر تهران و منطقه یک صورت گیرد.

۳- احداث حوضچه‌های تاخیری و بندهای.

۳- احداث رسوبگیرهای متعدد در بستر مسیل‌های اصلی قبل از ورود به محدوده شهری.

٤- تعیین محدوده‌های دارای پتانسیل سیل‌خیزی در مسیل‌های شهر و تدوین ضوابط و مقررات ساخت‌وساز در انواع کاربری‌ها با در نظر گرفتن خطر سیل‌خیزی.

۵- اصلاح و تکمیل سیستم زهکشی و جمع آوری آب‌های سطحی به منظور افزایش توان عبور آب کانال‌ها، پل‌ها و کالورت‌ها.

٦- اجرای طرح مطالعاتی و حفاظتی و هشدار سیل در حوضه آبریز رودخانه‌های مشرف به شهر تهران.

۷- آزادسازی بستر و حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های شهر تهران به منظور تأمین گذر جریان‌های حاصل از بارش ها.

۸- مکان‌یابی صحیح مراکز امدادرسانی و امنیتی و نظامی در جهت کاهش تبعات ناشی از بروز سیل.

کتابنامه

اصغری مقدم، محمدرضا؛ ۱۳۷۸. جغرافیای طبیعی شهر (۱) ژئومورفولوژی. تهران، نشر مسعی.

آل شـیخ، علی اصغر؛ سلطانی، محمدجعفر؛ هلالی، حسین؛ ۱۳۸۱. کاربرد GISدر مکان یابی عرصه‌های پخش سیلاب. تحقیقات حغرافیایی، دوره ۱۷. شماره ٤(پیاپی ٦٧)، ۲۲–۳۸.

امینی فسخودی، عباس؛ ۱۳۸٤. کاربرد استنتاج منطق فازی در مطالعات برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای. مجله دانش و توسعه، شماره ۱۷، نیمه دوم سال ۱۳۸٤، ۳۹–٦۱.

بهشـتی راد، مسعود؛ فیض نیا، سادات؛ سلاجقه علی؛ احمدی، حسن؛ ۱۳۸۸. بررسی کارایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش فاکتور اطمینان (CF): مطالعه موردی حوضه آبخیز معلم کلایه. نشریه جغرافیای طبیعی، دوره ۲، شماره ۵، ۱۹ –۲۸.

حمیدی، نعمت الله؛ وفاخواه، مهدی؛ نجفی، اکبر؛ ۱۳۹۵. تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوزه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال هفتم، شماره ١٤. پاییز و زمستان ۱۳۹۵، ۱۱–۱۹.

خالد، شهریار؛ ملکی، سعید؛ فرهمند، قاسم؛ ١٣٩٦. ریز پهنه‌بندی و مقایسه ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل‌های تلفیقی عملگرهای فازی ARC GISو تحلیل سـلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: شهر ارومیه). مطالعات عمران شهری. دور اول. شماره سوم. زمستان ١٣٩٦، ٦٥–٧٧.

خورسندی آقائی، احمد؛ عبدالی، منیژه؛ ۱۳۸۵. پوششدار کردن مسیل‌های شهری، کاهش حریم آن‌ها و عواقب آن: مطالعه موردی مسیل‌های شهر تهران. اولین همایش ملی مهندسی مسیل‌ها (کال‌ها)، مشهد.

ساسان‌پور، فرزانه؛ موسیوند، جعفر؛ ۱۳۸۹. تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلـان‌شـــهری با کاربرد Fuzzy Logic و GIS(مطالعه موردی: منطقه ۵ تهران). نشـــریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۳، بهار ۱۳۸۹، شماره ١٦، ۲۹–٤۹.

ساعد، عذرا؛ ۱۳۸۷. پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهر سنندج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم. دانشکده علوم انسانی.

شایسته، کامران؛ عابدیان، سحر؛ ۱۳۹۸. ارزیابی درازمدت اثرات هیدرولوژیک تغییر کاربری اراضی بر میزان رواناب سالانه در حوضه آبریز زیارت. فضای جغرافیایی. دوره ۱۹، شماره ٦٦، ٤٣–٦١.

شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس؛ ۱۳۹۰. طرح جمع آوری آب‌های سطحی تهران. جلد چهارم: بررسی شبکه موجود آب‌های سطحی. قسمت اول بررسی وضعیت موجود.

صفاری، امیر؛ ۱۳۷۸. قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان‌شهر تهران به منظور توسعه و ایمنی. رساله دکتری جغرافیای طبیعی–ژئومورفولوژی. دانشگاه تهران. دانشکده جغرافیا.

صفاری، امیر؛ ساسان‌پور، فرزانه؛ موسیوند، جعفر؛ ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابرخطر سیل با استفاده از سـیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی مطالعه موردی منطقه ۳ تهران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۰، ۱۲۹–۱۵۰.

طاهری بهبهانی، محمد طاهر؛ بزرگزاده، مصطفی؛ ۱۳۷۵. سیلاب‌های شهری. تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات شهر سازی و معماری ایران.

قدسیپور، سیدحسن؛ ۱۳۸۱. مباحثی در تصمیم گیری چند معیاره: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

قنواتی، عزت الله، کرم، امیر؛ آقاعلیخـــــانی، مرضیه؛ ۱۳۹۱. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۸. شماره ٤، ۱۲۱–۱۳۸.

قهرودی، منیژه؛ ۱۳۸٦. سـیلاب شـهری با طراحی Geodatabase، مطالعه موردی: شـهر نور در استان مازندران. دومین کنفرانس مدیریت جامع بحران در حوادث غیر مترقبه.

کرم، امیر؛ محمدی، اعظم؛ ۱۳۸۸. ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی بر پایه فاکتورهای طبیعی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال اول. شماره ٤، ۵۹– ۷٤.

محمودزاده، حســن؛ باکویی، مائده؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی سـیلاب با اسـتفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شــهر ســاری). مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۷. شماره ۱۸، ۵۱–٦۸.

ملکی نژاد، حسین؛ اکرامی، محمد؛ ۱۳۸۹. بررسی جنبه‌های مختلف هیدرولوژی شهری و غیرشهری. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب شهری، تهران. تیر ماه ۱۳۸۹.

مهندسین مشاور بافت شهر؛ ۱۳۸٤. تهیه الگوی توسعه و طرح تفضیلی منطقه و همکاری با شهرداری منطقه یک. معاونت شهرسازی و معماری شهرداری تهران.

موسـوی، سـیده‌معصـومه؛ نگهبان، سـعید؛ رخشانی‌مقدم، حیدر؛ حسین‌زاده سیدمحسن؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSISدر محیط GIS(مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغملک). نشریه مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۵. شماره ۱۰،۷۹–۹۷.

Chen J., Shufang Zhao, Huimin Wang., 2011. Risk Analysis of Flood Disaster Based on Clustering Method" Energy Procedia, Volume 5: 1915-1919.

Francisco, N. C, Rego, F. C, Gracasaraiva M.D, Ramos, I., 1998. Coupling GIS with Hydrologic and Hydrolic Flood Modelling Management, Water Resources Management, 12: 229-249.

Junxia Jia; Xinyi Wang; Naima A. M. Hersi; Wei Zhao., 2019. Flood-Risk Zoning Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Variable Set Theory, Natural Hazards Review,Vol. 20, Issue 3 (August 2019) .

Lootsma, F.A., 2005. Fuzzy Logic for Planning and Decision Making. Dordrecht, kluwer Academic Publisher.

Mose, T. L, Pathranakul, P., 2006. An Integrated Approach to Natural Disaster Prevention and management, Vol 15, No 3, Emerald Group Publishing Limited.

Rahmati. O, Zeinivand. H., Besharat. M.2015. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, Geomatics, Natural Hazards and Risk, DOI: 10.1080/ 19475705.2015.1045043.

Saaty. T., 1980. The analytical hierarchical process: planning, priority setting resource allocation. New York. Mc Graw-Hill, pages 1-20.

world Meteorological Organization., 2008. Urban flood risk management a tool Integrated Flood Management, Technical document NO.11, Flood Management tools series.

Yodying.A, Seejata.K, Chatsudarat.S Chidburee.P, Mahavik.N, Kongmuang.CH, Tantanee.S., 2019. FD Flood Hazard assessment using Fuzzy analytic hierarchy process: A case studt of Bang Rakam model in Thailand. The 40th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2019) October 14-18, 2019 / Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, Korea.